

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Návrh řešení pohonu výtahu o nosnosti 1000 kg a rychlosti 1 m/s

The projection of lift drive about lifting capacity 1000 kg and speed 1 m/s

Student:

Jakub Hlosta

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Leopold Hrabovský, Ph.D.

Ostrava 2010

Zadání bakalářské práce

Student: **Jakub Hlosta**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **2302R003 Dopravní stroje a manipulace s materiálem**
Téma: **Návrh řešení pohonu výtahu o nosnosti 1000 kg a rychlosti 1 m/s**
The Projection of Lift Drive about Lifting Capacity 1000 kg and Speed 1 m/s

Zásady pro vypracování:

- 1) Provedte rozbor a řešte možnosti variant výtahů.
- 2) Provedte návrh výkonu pohonu výtahu dle ČSN EN 81-1, výpočet trakční únosnosti a volbu lana, pro volený výtah nosnosti 1000 kg a rychlost zdvihu 1 m/s.
- 3) Provedte konstrukční návrh a řez výtahovou šachtou.
- 4) Vypracujte sestavný výkres poháněcí stanice s třecím kotoučem.

Seznam doporučené odborné literatury:

- 1) Polák, J., Slíva, A.: Dopravní a manipulační zařízení III. ES VŠB, 2005, 128 str.133, ISBN 80-248-0963-X.
- 2) Dražan, F., Kupka, L. a kol.: Transportní zařízení. SNTL, Praha 1966
- 3) Cvekl, Z., Janovský, L., Podivínský, V., Talacko, J.: Teorie dopravních a manipulačních zařízení. ČVUT Praha, 1984.
- 4) Jeřábek, K.: Stroje a zařízení pro manipulaci. ES ČVUT Praha 1987.
- 5) Janovský, L.: Systémy a strojní zařízení pro vertikální dopravu. ES ČVUT Praha 1991.
- 6) Normy z dané oblasti ČSN EN 81-1, apod.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Leopold Hrabovský, Ph.D.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé kvalifikační práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Jakub Hlosta

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Jakub Hlosta
Nošovice, č.p. 53
739 51

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

HLOSTA, J. *Návrh řešení pohonu výtahu o nosnosti 1000 kg a rychlosti 1 m/s : bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, institut dopravy, 2010, 48 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Hrabovský, L., Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním řešením elektrického trakčního výtahu se strojovnou. Tento výtah je určen pro dopravu osob s nosností 1000kg, jmenovitou dopravní rychlostí 1 m/s a zdvihem 17 m. V úvodní části jsou rozebrány různé konstrukční varianty výtahů. Další část je věnována elektrickým trakčním výtahům a jejich konstrukčním prvkům. Závěrečná – výpočetní část je věnována technologickým výpočtům, souvisejících s danou problematikou trakčních výtahů. Koncepční řešení výtahu a výtahového stroje je dokumentováno ve výkresové části bakalářské práce, stejně jako výkres rámu kabiny nebo pomaluběžné hřídele výtahového stroje.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

HLOSTA, J. *The projection of lift drive about lifting capacity 1000 kg and speed 1 m/s : bachelor thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2010, 48p Thesis head: doc. Ing. Hrabovský, L., Ph.D.

This bachelor thesis deals with the design solution of electric traction lift with the machine-room. This lift is dedicated to the carriage of passengers with a dead weight capacity 1000 kg, nominal speed 1 m/s and transport stroke 17 m. In the introduction there are indicated a different construction possibilities of lifts. Another part devotes to technological calculation communicating with the traction lifts problems. The design solution of lift and gear is documented in the drawing documentation of bachelor thesis such as the drawing of the frame of the lift cabin or driving shaft.

Obsah

Seznam použitého značení.....	8
1. Úvod	10
2. Výtahy	11
2.1. Rozdělení výtahů	11
2.2. Porovnání výhod a nevýhod základních typů výtahů	12
2.2.1. Trakční se strojovnou nahoře.....	12
2.2.2. Trakční se strojovnou dole.....	13
2.2.3. Trakční bez strojovny	13
2.2.4. Hydraulický výtah.....	14
2.2.5. Pneumatický výtah.....	14
3. Elektrický trakční výtah	15
3.1. Trakční pohon	16
3.2. Výtahový stroj.....	17
3.3. Hnací lanový kotouč	18
3.4. Nosné prostředky	19
3.5. Převody výtahových strojů	21
3.6. Spojky	22
3.7. Brzdy.....	23
3.8. Ostatní části výtahů.....	24
3.8.1. Šachta výtahu	24
3.8.2. Strojovna výtahu	24
3.8.3. Klec (kabina) výtahu.....	24
3.8.4. Vyvažovací závaží	24
3.8.5. Vodítka.....	25
3.8.6. Nárazník.....	25
3.8.7. Zachycovače	26
3.8.8. Omezovač rychlosti	26
4. Technologické výpočty	27
4.1. Volené parametry	27
4.2. Volba výtahové kabiny a rámu kabiny	27
4.3. Volba protizávaží.....	28
4.4. Návrh nosných lan	28
4.5. Návrh třecího kotouče.....	29

4.6.	Návrh drážky třecího kotouče	30
4.7.	Kontrola trakce	32
4.7.1.	Nakládání – plná klec dole.....	32
4.7.2.	Nakládání – plná klec nahoře.....	33
4.7.3.	Vykládání – prázdná klec nahoře.....	34
4.7.4.	Vykládání – prázdná klec dole.....	35
4.7.5.	Nouzové zastavení – plná klec, směr dolů.....	36
4.7.6.	Nouzové zastavení – plná klec, směr nahoru.....	36
4.7.7.	Nouzové zastavení – prázdná klec, směr dolů.....	37
4.7.8.	Nouzové zastavení – prázdná klec, směr nahoru	38
4.8.	Výpočet výkonu	39
4.9.	Volba elektromotoru	40
4.10.	Výpočet převodového poměru.....	40
4.11.	Volba převodové skříně	41
4.12.	Kontrola doby rozběhu	42
4.13.	Volba brzdy.....	43
4.14.	Výpočet přitlačné síly čelistí brzdy	44
4.15.	Volba spojky	45
5.	Závěr	46
6.	Seznam použité literatury	47
7.	Přílohy	48

Seznam použitého značení

C_1	součinitel zahrnující zrychlení, zpomalení a speciální podmínky	[-]
C_{1min}	minimální součinitel zahrnující zrychlení, zpomalení a speciální podmínky	[-]
C_2	součinitel tvaru drážky	[-]
D	průměr třecího kotouče	[mm]
D_{min}	minimální průměr třecího kotouče	[mm]
F_{min}	minimální síla v laně při přetržení	[kN]
F_o	obvodová síla	[N]
F_{skut}	skutečná síla v laně	[N]
F_{teor}	teoretická síla v laně	[N]
F_{ZL}	zkušební síla lana	[kN]
H	zdvih výtahu	[m]
J_1	moment setrvačnosti rotačních hmot	[kgm ²]
J_2	moment setrvačnosti posuvných hmot	[kgm ²]
J_{BK}	moment setrvačnosti brzdového kotouče	[kgm ²]
J_{EM}	moment setrvačnosti elektromotoru	[kgm ²]
J_P	moment setrvačnosti převodovky	[kgm ²]
J_{TK}	moment setrvačnosti třecího kotouče	[kgm ²]
K	síla v pružinách odbrzdovače	[N]
K_1	empirický koeficient lana s váknitou duší	[-]
M_i	inerční moment redukováný na hřídel motoru	[Nm]
M_{N-EM}	nominální (jmenovitý) moment elektromotoru	[Nm]
M_{pmax}	maximální točivý moment převodovky	[Nm]
M_{st}	statický moment redukováný na hřídel motoru	[Nm]
M_Z	potřebný záběrový moment	[Nm]
M_{Z-EM}	záběrový moment elektromotoru	[Nm]
P	hmotnost klece výtahu	[kg]
P_{EM}	výkon elektromotoru	[kW]
P_{EMmin}	minimální potřebný výkon elektromotoru	[kW]
Q	nosnost výtahu	[kg]
P_P	výkon převodovky	[kW]
R_r	stupeň lana	[Mpa]
T	tahová síla v laně	[N]
T_{1Npld}	síla na straně klece při nakládání v dolní poloze	[N]
T_{1Npln}	síla na straně klece při nakládání v horní poloze	[N]
$T_{1NZplsd}$	síla na straně plné klece při nouzovém zastavení směrem dolů	[N]
$T_{1NZplsn}$	síla na straně plné klece při nouzovém zastavení směrem nahoru	[N]
$T_{1NZprsd}$	síla na straně prázdné klece při nouzovém zastavení směrem dolů	[N]
$T_{1NZprsn}$	síla na straně prázdné klece při nouzovém zastavení směrem nahoru	[N]

T_{1Vprd}	síla na straně protizávaží při vykládání v dolní poloze	[N]
T_{1Vprm}	síla na straně protizávaží při vykládání v horní poloze	[N]
T_{2Npld}	síla na straně protizávaží při nakládání v dolní poloze	[N]
T_{2Npln}	síla na straně protizávaží při nakládání v horní poloze	[N]
$T_{2NZplsd}$	síla na straně protizávaží při nouzovém zastavení plné klece směrem dolů	[N]
$T_{2NZplsn}$	síla na straně protizávaží při nouzovém zastavení plné klece směrem nahoru	[N]
$T_{2NZprsd}$	síla na straně protizávaží při nouzovém zastavení prázdné klece směrem dolů	[N]
$T_{2NZprsn}$	síla na straně protizávaží při nouzovém zastavení prázdné klece směrem nahoru	[N]
T_{2Vprd}	síla na straně klece při vykládání v dolní poloze	[N]
T_{2Vprm}	síla na straně klece při vykládání v horní poloze	[N]
Z	hmotnost vyvažovacího závaží	[kg]
a	zrychlení / zpoždění klece	[m/s ²]
d	průměr lana	[mm]
f	koeficient tření mezi lanem a drážkou třecího kotouče	[-]
f_B	koeficient tření mezi brzdovým kotoučem a brzdovým obložením	[-]
g	gravitační zrychlení Země	[m/s ²]
i_k	lanový převod výtahu	[-]
i_P	převodový poměr převodovky - skutečný	[-]
$i_{př}$	převodový poměr převodovky - potřebný	[-]
k	bezpečnost lan	[-]
m_{DK}	hmotnost dopňků kabiny	[kg]
m_{RK}	hmotnost rámu kabiny	[kg]
m_{VK}	hmotnost výtahové kabiny	[kg]
n_{EM}	otáčky elektromotoru	[min ⁻¹]
n_L	počet nosných lan	[-]
n_{TK}	otáčky třecího kotouče	[min. ⁻¹]
p	měrný tlak v drážce	[Mpa]
p_{DOV}	dovolený měrný tlak v drážce	[Mpa]
q_L	délková hmotnost lana	[kg/m]
t_b	doba brzdění	[s]
t_r	doba rozběhu	[s]
v	rychlost zdvihu	[m/s]
v_{sk}	skutečná rychlost zdvihu	[m/s]
α	úhel opásání	[rad]
β	úhel podřezání drážky	[°]
η_c	celková účinnost pohonu	[-]
η_{EM}	účinnost elektromotoru	[-]
η_P	účinnost převodovky	[-]
μ	koeficient tření litina - ocel	[-]

1. Úvod

V normě ČSN ISO 4190-1 je v terminologii uveden pojem osobní výtah, což je: trvale umístěné zvedací zařízení obsluhující určené úrovně nástupišť, mající klec, jejíž rozměry a konstrukce zjevně dovolují přístup osob. Osoby a břemena jsou dopravovány v tzv. kleci nebo kabině výtahu. Klec je vedena pevnými vodičky, zakotvenými v šachtě výtahu. Vodička umožňují jediný pohyb klece: přímočarý posuv nahoru a dolů. Klec je zavěšena na nosných orgánech, které ji spojují s motorickým zdvihacím ústrojím výtahu, tzv. výtahovým strojem.

Podle vyhlášky č.19/1979 Sb. je výtah vyhrazené zdvihací zařízení, které je definováno jako: zdvihací zařízení, které může ve zvýšené míře ohrozit zdraví pracovníků, nebo způsobit škodu na majetku. U takto definovaných vyhrazených zdvihacích zařízení je nutno provádět státní odborný dozor, který spadá pod kontrolou Českého úřadu bezpečnosti práce (ČÚBP).

Provoz výtahu je přerušovaný. To znamená, že nastupování a vystupování osob nebo nakládání a vykládání břemen probíhá při stojící kabině. Výtahy s nepřetržitým pracovním cyklem (páternostery), u kterých se výstup i nástup děje za provozu, se dnes již nepoužívají a lze se s nimi setkat jen zcela výjimečně.

K výtahům se počítají i eskalátory a pohyblivé chodníky jako prostředky vertikální a horizontální dopravy. Přitom k ekonomickému řešení dopravních problémů v budovách je často použito kombinace výtahů a eskalátorů.

Důvody, které vedly ke konstrukci výtahů jsou zcela přirozené. Pohyb vzhůru proti zemské přitažlivosti je spojen s vynaložením značné fyzické energie.

Tato bakalářská práce se soustředí především na elektrické trakční výtahy, což jsou nejpoužívanější typy výtahů.

2. Výtahy

2.1. Rozdělení výtahů

Podle druhu pohonu:

- výtahy s elektrickým pohonem
- výtahy s hydraulickým pohonem
- výtahy s pneumatickým pohonem

Podle normy ČSN ISO 4190-1:

- Třída I Výtahy určené pro dopravu osob.
- Třída II Výtahy určené především pro dopravu osob, ale může se v nich dopravovat i náklad.
- Třída III Výtahy určené pro zdravotnické účely včetně nemocnic a pečovatelských domovů.
- Třída IV Výtahy určené především pro dopravu nákladu, který je obvykle doprovázen osobami.
- Třída V Malé nákladní výtahy.
- Třída VI Výtahy zvlášť určené pro budovy s intenzivním provozem.

Nezatříděné:

- stolové výtahy
- nákladní výtahy se zakázanou dopravou osob
- bubnové výtahy
- oběžné výtahy (páternostery)

Základními parametry výtahů jsou nosnost a jmenovitá dopravní rychlost. Nosností výtahu rozumíme nejvyšší dovolenou hmotnost břemene, kterým se smí klec výtahu zatížit. Jmenovitá dopravní rychlost je teoretická rychlost klece, pro niž je výtah konstruován.

Hodnoty nosností v kg a jmenovité dopravní rychlosti v m/s jsou normalizovány a jsou uvedeny v tab. 2.1 a 2.2.

Normalizované nosnosti [kg]

320	(450)	630	800	1000	1275	1600	1800	2000	2500
-----	-------	-----	-----	------	------	------	------	------	------

tab. 2.1

Normalizované rychlosti [m/s]

0,4	0,63	1,0	1,6	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0
-----	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

tab. 2.2

Elektrické výtahy \Rightarrow rychlosti 0,63 – 6,0 m/s

Hydraulické výtahy \Rightarrow rychlosti 0,4 – 1,0 m/s

Doplňujícími parametry a údaji, které blíže určují typ výtahu, jsou zejména:

- zdvih a počet stanic – nástupišť
- rozměry šachty, klece a strojovny
- napětí elektrické sítě, hustota spínání a zatěžovatel
- druh řízení výtahu
- provedení a ovládání šachetních dveří
- umístění výtahu v budově

2.2. Porovnání výhod a nevýhod základních typů výtahů

2.2.1. Trakční se strojovnou nahoře

Výtah je poháněn trakčním pohonem se strojovnou umístěnou nad výtahovou šachtou

- výhody
 - krátká délka lan
 - přístup při poruše
 - maximální využití rozměrů šachty
 - nízký hluk v šachtě
 - velký zdvih

b) nevýhody

- přístup na střechu poklopem
- nevzhledná strojovna na střeše budovy
- problémové vytažení motoru na střechu

2.2.2. Trakční se strojovnou dole

Výtah je poháněn trakčním pohonem se strojovnou umístěnou dole vedle výtahové šachty.

a) výhody

- bez nutnosti strojovny na střeše budovy
- dobrý přístup k motoru

b) nevýhody

- velká délka lan
- specifické motory
- převáděcí kladky

2.2.3. Trakční bez strojovny

Výtah je poháněn trakčním pohonem umístěným ve výtahové šachtě. Bezstrojovnové uspořádání výtahů představuje moderní trend spojující úsporu místa a nároků na stroj.

a) výhody

- bez nutnosti strojovny
- je méně závislý na budově
- nízké stavební náklady
- krátká délka lan
- maximální využití rozměrů šachty

b) nevýhody

- větší hluk v kabině výtahu, z důvodu umístění pohonu v šachtě
- šachta se musí dobře odizolovat
- nutnost dálkového řízení pohonu

2.2.4. Hydraulický výtah

a) výhody

- nižší náklady na instalaci
- větší flexibilita (strojovna může být kdekoliv v budově i mimo ni)
- větší nosnost
- tišší chod (hydraulická jednotka pracuje jen při pohybu vzhůru)
- menší poruchovost, méně el. prvků

b) nevýhody

- menší dopravní rychlosti
- malé zdvihy

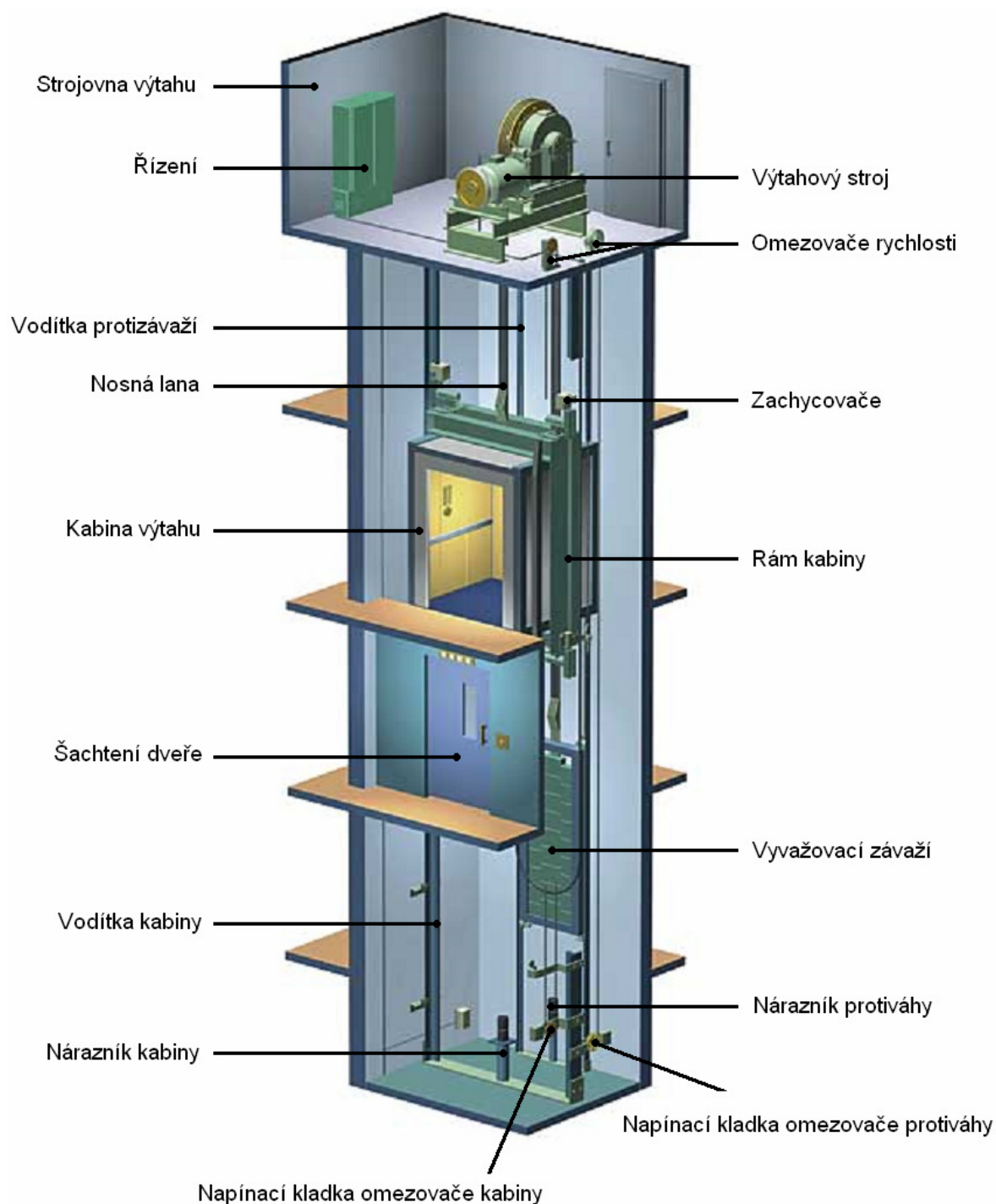
Existují dva druhy pohonu hydraulických výtahů. Přímý, kde píst působí bezprostředně na rám výtahu a nepřímý, kde píst působí na rám výtahu pomocí lan a kladky. Přímý hydraulický pohon je levnější a konstrukčně jednodušší, na druhou stranu však limitován délkou pístu, proto se hodí pro zdvihy do 3 metrů. Nepřímý hydraulický pohon je vhodný pro budovy do 8 pater (max. zdvih kolem 21 metrů).

2.2.5. Pneumatický výtah

S pneumatickými výtahy se můžeme setkat jen málokde. Dnes už se pro svůj omezený zdvih a rychlost téměř nepoužívají.

V této bakalářské práci volím variantu trakčního výtahu se strojovnou nad hlavou výtahové šachty. Proto se v další kapitole zaměřuji hlavně na tento typ výtahu.

3. Elektrický trakční výtah



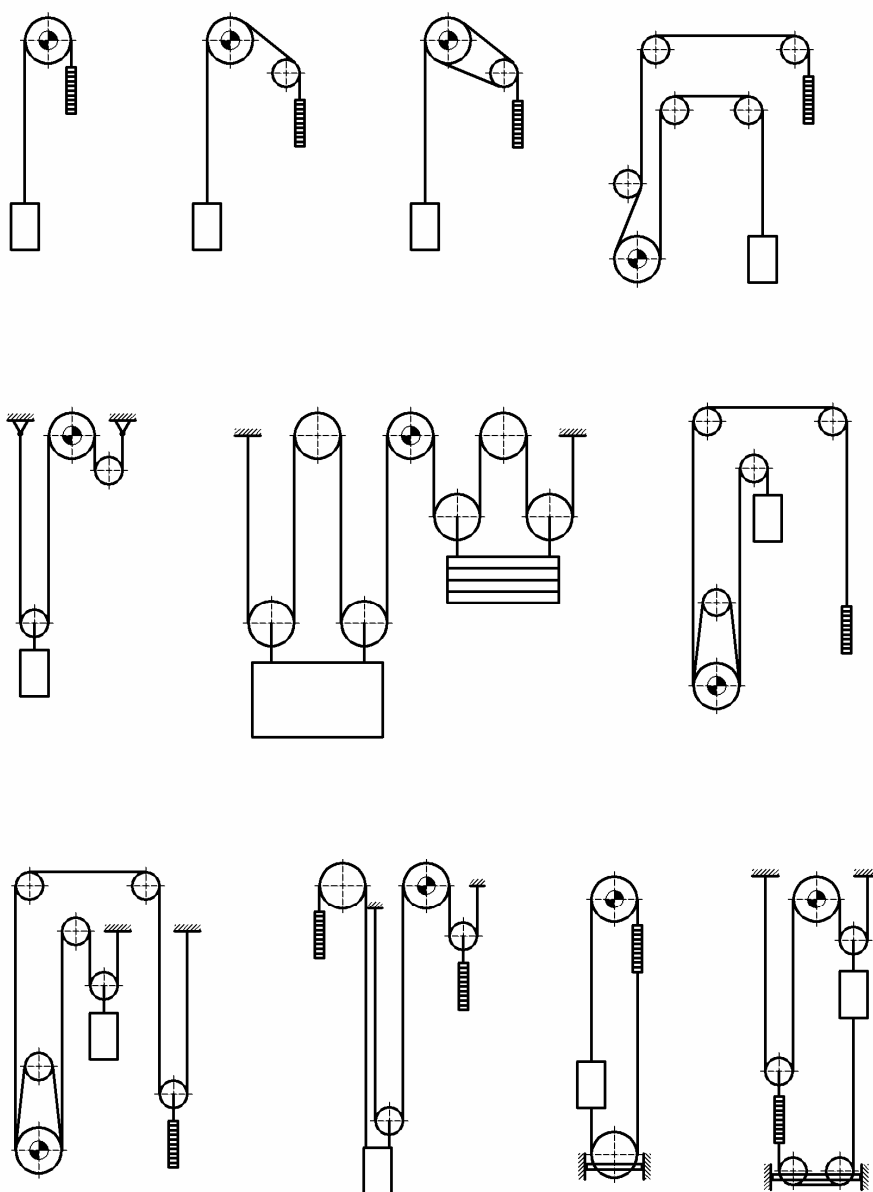
Obr. 3.1 Celkové uspořádání výtahu se strojovnou nahoře; zdroj [23]

3.1. Trakční pohon

Pod pojmem trakční pohon neboli třecí pohon rozumíme pohon výtahovým strojem s hnacím lanovým kotoučem, kde přenos hnací obvodové síly z kotouče na lana je uskutečněn výhradně třením.

Lanové systémy u trakčního pohonu

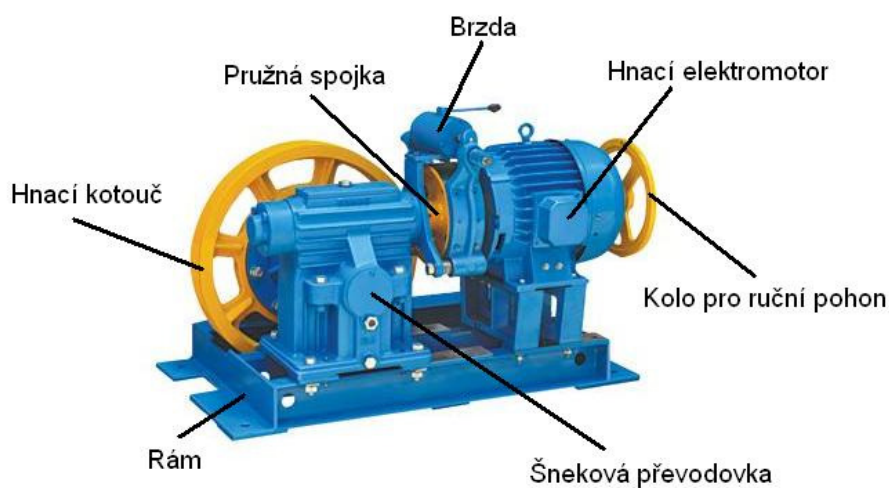
Existuje celá řada lanových systémů. Použití určitého systému závisí na místních podmínkách. Volbě lanového systému je potřeba věnovat velkou pozornost, poněvadž na něm do značné míry závisí životnost lan.



Obr. 3.2 Ukázky lanových systémů

3.2. Výtahový stroj

Výtahový stroj je motorickým zdvihacím ústrojím výtahu. Jeho hlavními částmi jsou hnací elektromotor, převodový mechanismus, hnací lanový kotouč, mechanická brzda, spojka, ložiska, hřídele a rám výtahového stroje. V dnešní době jsou takovéto klasické výtahové stroje (viz obr. 3.3) vytlačovány malými kompaktními stroji, které se umísťují přímo do výtahové šachty (viz obr. 3.4). Další inovací v tomto směru představují také pohony pro plochá lana.



Obr. 3.3 Klasický výtahový stroj; zdroj [14]



Obr. 3.4 Moderní výtahový stroj italské firmy ALBERTO SASSI; zdroj [11]

3.3. Hnací lanový kotouč

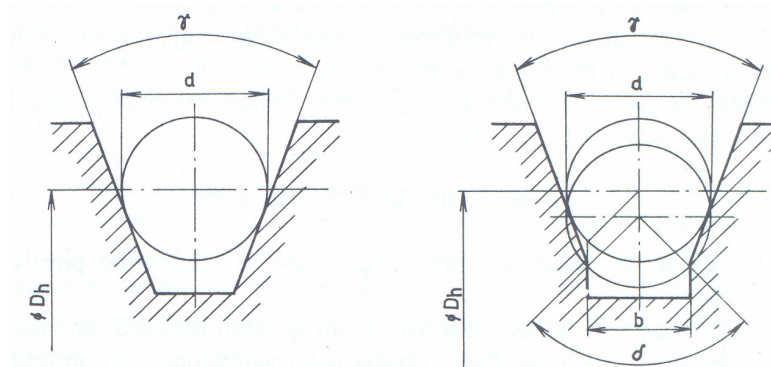
Přenos obvodové hnací síly z lanového kotouče na nosná lana je umožněn výhradně třením. Životnost lan vzrůstá s rostoucím průměrem hnacího kotouče. Průměr hnacího kotouče se stanovuje dle průměru nosných lan. Norma ČSN EN 81-1 říká, že poměr průměru třecího kotouče nebo kladek (měřeno od os lan), přes které jsou lana vedena a průměru lana, musí být minimálně 40.

$$\frac{D_h}{d} \geq 40 \quad [-]$$

Věnc hnacího kotouče je drážkován. Používají se drážky dvou profilů.

a) Klínová drážka a klínová drážka se zářezem

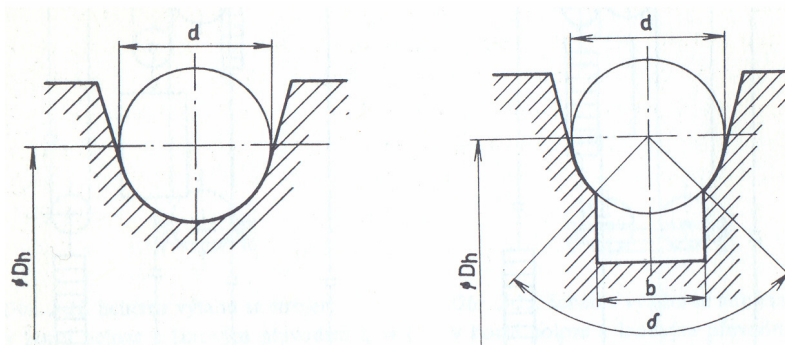
Schopnost přenosu hnací síly vzrůstá se zmenšujícím se úhlem drážky, současně však vzrůstá opotřebení lana. Úhel drážky proto nesmí být menší než 32°. Obvykle se volí úhel klínové drážky v rozmezí 35 - 45°.



Obr. 3.3 Klínová drážka a klínová drážka se zářezem; zdroj [1]

b) Polokruhová drážka a polokruhová drážka se zářezem

Trakční schopnost je podstatně nižší než v předchozím případě. Výhodou je ale větší životnost lan následkem menšího měrného tlaku a tichý chod.



Obr. 3.4 Polokruhová drážka a polokruhová drážka se zářezem; zdroj [1]

3.4. Nosné prostředky

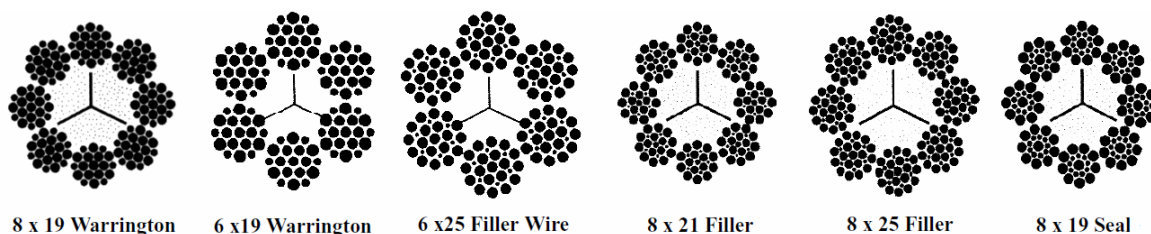
Nosné prostředky výtahů slouží k zavěšení klece a vyvažovacího závaží. Používají se buď ocelová lana nebo kloubové řetězy. Dnes se používají převážně ocelová lana. Kloubové řetězy se používají jen u výtahů s malou dopravní rychlostí a omezeným zdvihem.

V současné době prožívají velký boom také lana plochá, která mají proti klasickým ocelovým lanům mnoho výhod. K těm patří například až 3x delší životnost, o 20% menší hmotnost, nevyžadují mazání, vyšší ohybnost, lepší třecí vlastnosti, omezují vibrace a hlučnost.

Bezpečnost provozu výtahových zařízení vyžaduje, aby opotřebovaná a poškozená lana byla včas vyměněna. Hlavním kritériem pro posouzení, kdy je nutno lano vyměnit, je počet viditelných zlomů drátů na určité délce.

Návrhem lan pro výtahy se zabývají normy ČSN EN 81-1 a ČSN EN 12385-5. Podle těchto norem musí lana splňovat tyto požadavky:

- minimální počet dvou lan o minimálním průměru 8 mm
- jmenovitá pevnost drátů 1570 nebo 1770 MPa anebo u lan s dráty s dvojí pevností v tahu u vnějších drátů 1180/1370 MPa, u vnitřních 1770 MPa
- lana musí být vyrobena z holých drátů
- duše lana musí být vláknitá
- součinitel bezpečnosti lan musí být minimálně:
 - 12 u výtahů s třecími kotouči s 3 a více lany
 - 16 u výtahů s třecími kotouči se 2 lany
 - 12 u bubnových výtahů

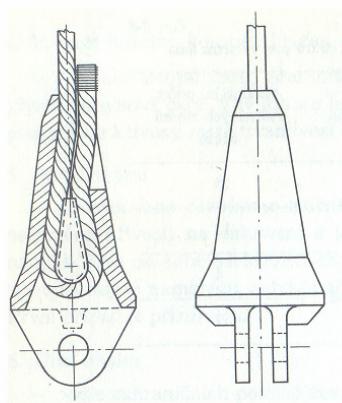


Obr. 3.5 Používané typy ocelových lan; zdroj [15]

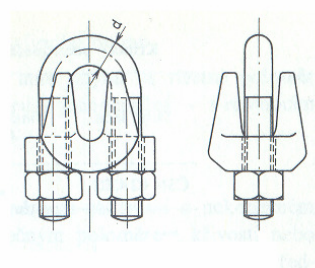
Upevnění konců ocelových lan

Upevnění konců nosných lan musí mít nejméně stejnou bezpečnost jako lano. Lano je možno upevnit těmito prostředky:

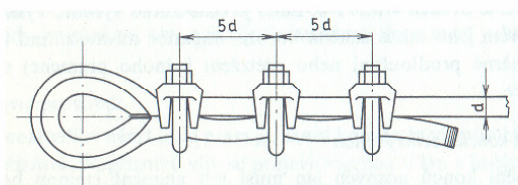
- Klínovou objímkou s klínem
- Lanovými svorkami
- Zalitím rozpletených konců lan do objímky
- Odborným zaplétáním konce lana
- Nalisovanou objímkou



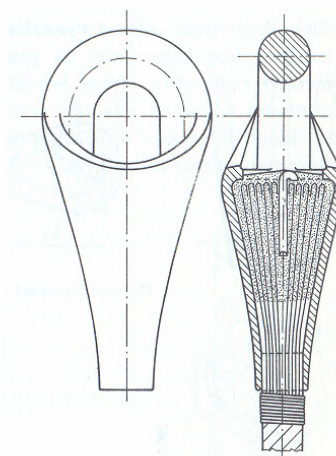
Upevnění konce lana objímkou s klínem



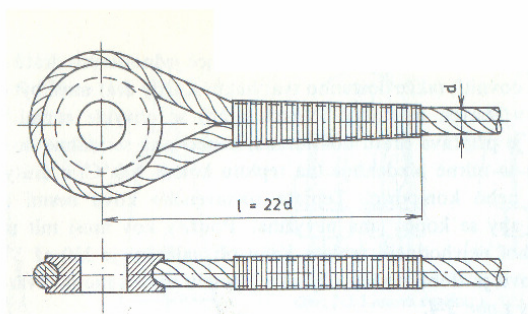
Lanová svorka



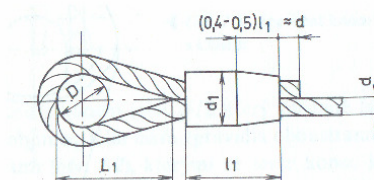
Upevnění konce lana lanovými svorkami



Upevnění konce lana zalitím v objímce



Upevnění konce lana zaplétáním



Upevnění konce lana nalisovanou objímkou

Obr. 3.6 Způsoby uchycení konce lana; zdroj [1]

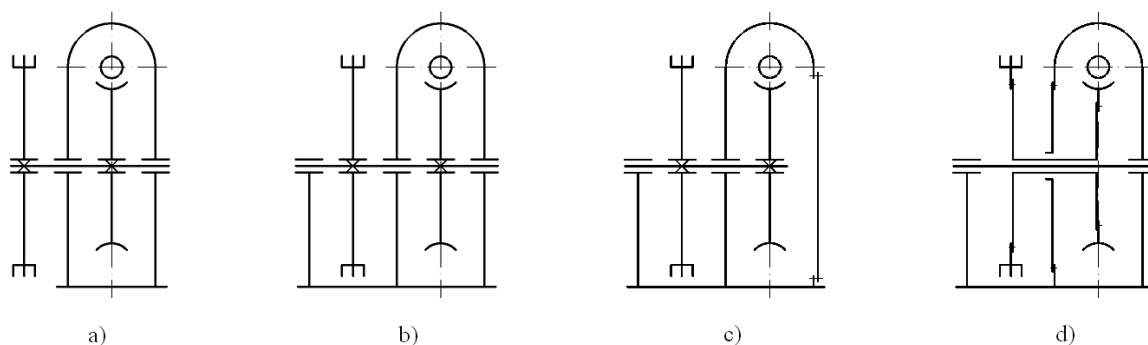
3.5. Převody výtahových strojů

Bezpřevodový výtahový stroj je vhodný pouze pro vyšší jmenovité rychlosti. Pro nižší rychlostmi je nutno použít mechanického převodu mezi motorem a hnacím kotoučem. Součástí mechanického převodu je vždy šneková převodová skříň, používaná buď samostatně, nebo v kombinaci s čelní ozubenou předlohou. Šnekové převodovky je u výtahů nutno používat pro svou zásadní vlastnost, a to samosvornost.

Šnekové skříně jsou děleny horizontálně a vyrábějí se buď se šnekem nahoře, nebo v dolní poloze. První alternativa se používá pro rychlosti šneku větší než 5 m/s, neboť ztráty broděním a rozstřikováním oleje by byly příliš vysoké. Umístění šneku dole je nutné při otáčkách menších než 30 min^{-1} , neboť kolo by při malé rychlosti nebylo schopno vynést olej do místa záběru a zajistit tak potřebné mazání.

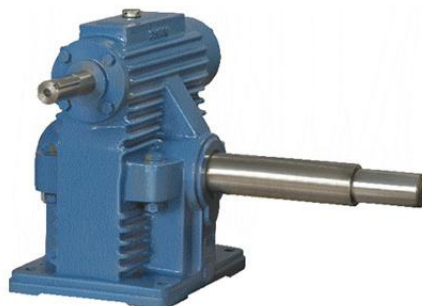
Šnekové kolo je nalisováno na pomaloběžný hřídel, nebo je naraženo a přenos točivého momentu je umožněn perem, případně dvěma pery navzájem pootočenými o 90° .

Uložení hřídele šnekového kola



Obr 3.7 Varianty uložení hřídele šnekového kola

- a) Uložení pomaloběžného hřídele ve dvou ložiskách a hnacím kotoučem letmo
- b) Uložení pomaloběžného hřídele ve třech ložiskách
- c) Uložení pomaloběžného hřídele ve dvou ložiskách se šnekovým kolem letmo
- d) Uložení pomaloběžného hřídele ve dvou ložiskách s věnci šnekového kola a hnacího kotouče, přišroubovanými ke společnému náboji

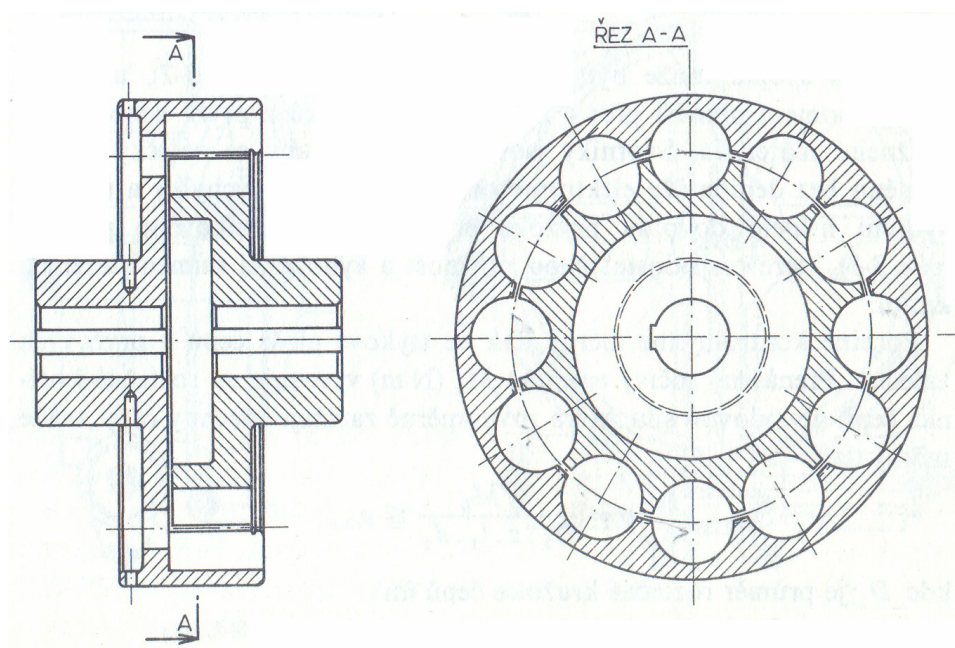


Obr. 3.8 Šneková převodovka pro výtahový stroj; zdroj [14]

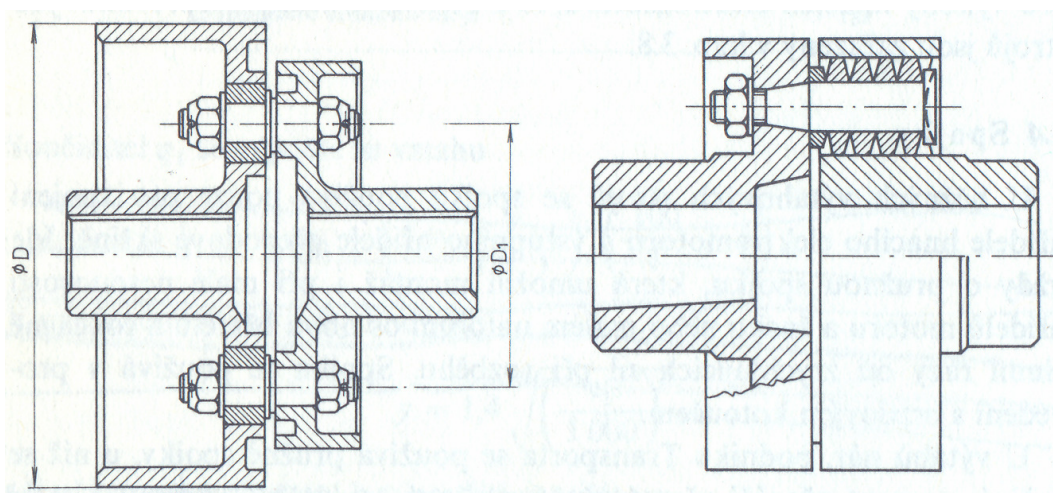
3.6. Spojky

U běžných výtahových strojů se spojka používá pouze pro spojení hřídele hnacího elektromotoru a vstupního hřídele převodové skříně. Jde vždy o pružnou spojku, která umožní montáž i při malé nesouososti hřídelů motoru a šneku nebo malém natočení obou hřídelů. Současně tlumí rázy od zrychlujících sil při rozběhu. Spojka se používá v provedení s brzdovým kotoučem.

Velice často se používá spojka, u které se točivý moment přenáší přes 4 až 16 pryžových válečků, vložených mezi hnací a hnanou část spojky. (viz Obr. 3.9)



Obr. 3.9 Pružná spojka s pryžovými válečky; zdroj [1]

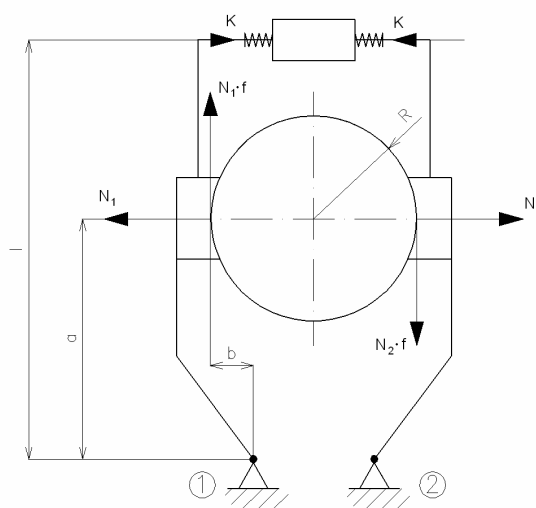


Obr. 3.10 Pružná spojka čepová a čepová s pryžovými prstenci; zdroj[1]

3.7. Brzdy

Brzda výtahového stroje musí být navržena tak, aby počet součástí vystavených opotřebení byl minimální. V opačném případě by bylo nutné příliš časté seřizování, neboť špatně seřízená brzda je příčinou nepřesného zastavování kabiny v podlaží. Sevření brzdy je provedeno tlačnými pružinami. U výtahových strojů s mechanickým převodem je brzda umístěna na rychloběžné hřídeli.

U výtahů se používají čelistové brzdy ovládané elektromagnetickým odbrzdovačem. Poloha magnetu bývá vodorovná. Odbrzdovač působí mechanicky na čelisti pomocí pákového mechanismu. Čelisti jsou vybaveny brzdovým obložením, aby se zvýšil součinitel smykového tření. Páky brzdy musí mít dostatečnou tuhost, aby nepružily.



Obr. 3.11 Silové poměry dvoučelistové brzdy



Obr. 3.12 Fotografie aplikace dvojčinnné brzdy výtahu

3.8. Ostatní části výtahů

3.8.1. Šachta výtahu

Šachta výtahu je prostor, ve kterém se pohybuje klec výtahu a vyvažovací závaží. Tento prostor je ohraničen podlahou v prohlubni, stěnami a stropem. Je přístupný šachetními dveřmi a dveřmi pro údržbu.

3.8.2. Strojovna výtahu

Je samostatná, uzamykatelná, osvětlená a dobře větraná místnost, jejíž stěny, strop, podlaha a dveře, popř. poklop, jsou z plnostěnného a nehořlavého materiálu. Minimální výška strojovny pro elektrické výtahy je 2 m. V této místnosti je umístěn výtahový stroj s jeho příslušenstvím a další zařízení včetně elektrických přístrojů pro zařízení a zajištění bezpečnosti provozu výtahu. Strojovna výtahu smí být přístupná pouze oprávněným osobám (údržba, oprava, revize, apod.).

3.8.3. Klec (kabina) výtahu

Klec výtahu je část, která slouží k umístění a dopravě osob nebo břemen. Je namontována ve svém nosném rámu. Klec je ohrazena plnými stěnami, podlahou a stropem. Světlá výška klece a vstupu do klece je minimálně 2 m. Vstupy do klece musí mít plnostěnné dveře. Výjimkou jsou nákladní výtahy, kdy mohou být použity děrované dveře nebo dveře z pletiva.

Ke kovovému rámu kabiny jsou připevněny:

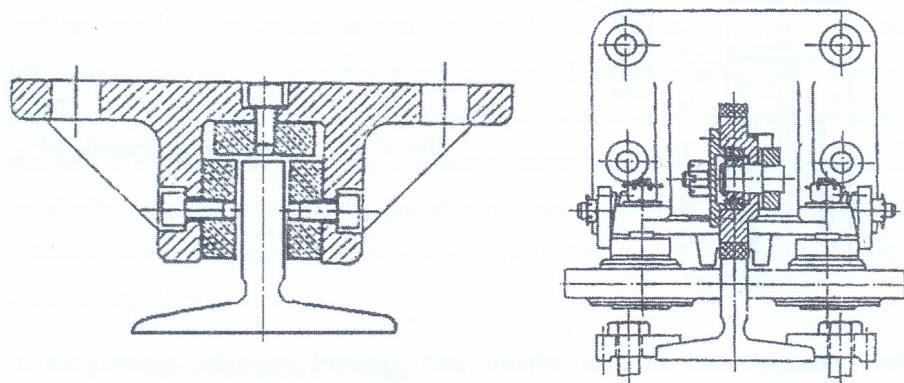
- závěs, jehož prostřednictvím je klec upevněna k nosným prostředkům
- vodící čelisti, zajišťující vedení po vodítkách
- zachycovače
- závěs a pohon kabinových dveří

3.8.4. Vyvažovací závaží

Protizávaží výtahu vyvažuje zcela hmotnost klece s příslušenstvím a 40 - 50% nosnosti výtahu. Je stejně jako klec vedeno vodítky. Vyvažovací závaží může být buď z jednoho kusu nebo z několika navzájem spojených litinových nebo betonových hranolů.

3.8.5. Vodítka

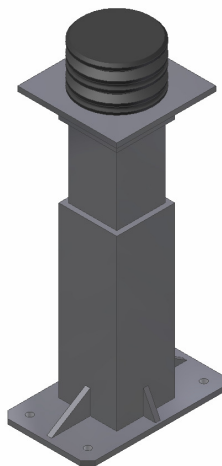
Klec výtahu i vyvažovací závaží jsou vedeny vodítky, kotvenými ve výtahové šachtě. Vodítka mimo vlastního vedení klece a závaží umožňují také zastavení klece zachycovači. K vedení musí sloužit alespoň dvě ocelová vodítka, nejčastěji T profilu. Vedení klece (protizávaží) po vodítkách může být kluzné nebo valivé.



Obr. 3.13 Kluzné a valivé vedení; zdroj [4]

3.8.6. Nárazník

Nárazník je pružná zarážka, působící na konci jízdní dráhy, zpomalující hydraulicky, pomocí pružin nebo pomocí podobného zařízení klec nebo vyvažovací závaží při přejetí dolní krajní polohy. Nárazníky jsou dvou typů. Akumulující (pevné, pružinové) nebo pohlcující (hydraulické) energii. Pevné nárazníky jsou pryžové nebo polyuretanové a mohou být, stejně jako pružinové, použity jen do rychlosti výtahu 1 m/s.



Obr. 3.14 Model nárazníku klece

3.8.7. Zachycovače

Jsou mechanické prostředky sloužící k tomu, aby zabrzdlily a na vodítkách udržely klec nebo vyvažovací závaží při překročení jmenovité rychlosti výtahu. Zachycovače musí být vybaveny omezovačem rychlosti. Používají se dva typy provedení zachycovačů. Klouzavé a samosvorné (s tlumením, bez tlumení). Pro rychlost výtahů větší než 1 m/s se mohou používat pouze klouzavé zachycovače, které zastaví klec na delší dráze třením o vodítka. Střední zpoždění klece zatížené na 100% nosnosti musí být v rozmezí (0,2 -1).g.



Obr. 3.15 Výtahové zachycovače; zdroj [12]

3.8.8. Omezovač rychlosti

Omezovače rychlosti jsou zařízení, která při překročení jmenovité rychlosti výtahu vypínají pohon a pokud je to nutné, vybavují zachycovače. Dělí se na kyvadlové a odstředivé.



Obr. 3.16 Omezovač rychlosti; zdroj [12]

4. Technologické výpočty

4.1. *Volené parametry*

V této bakalářské práci je řešen osobní elektrický výtah s třecím kotoučem, obsluhující 5 podlaží. Práce se zaměřuje hlavně na návrh výtahového stroje, volbu lan a výpočet trakční únosnosti výtahu. Parametry voleného výtahu jsou:

- *nosnost: $Q = 1000 \text{ kg}$*
- *rychlost zdvihu: $v = 1 \text{ m/s}$*
- *zdvih: $H = 17 \text{ m}$*
- *zrychlení: $a = 0,7 \text{ m/s}^2$*
- *lanový převod: $i_k = 1$*

4.2. *Volba výtahové kabiny a rámu kabiny*

Kabinu volím z katalogu firmy DELTA CVS. Pro zadanou nosnost 1000 kg je normou ČSN EN 81 – 1 tab. 1.2 předepsána minimální užitná plocha podlahy výtahové kabiny $2,4 \text{ m}^2$ a maximální počet 13-ti osob, které je v této kabině možno přepravovat.

Určení počtu osob

$$\frac{\text{nosnost}}{75} = \frac{1000}{75} = 13,3 \Rightarrow \underline{13 \text{ osob}} \quad (4.1)$$

Výtahová kabina DELTA CVS - Beta 1000		
<i>nosnost</i>	1000	[kg]
<i>rozměry (vnitřní)</i>	1200 x 2000 x 2100	[mm]
<i>plocha podlahy kabiny</i>	2,4	[m ²]
<i>max. počet osob</i>	13	[-]
<i>hmotnost</i>	472	[kg]

Tab. 4.1 Parametry výtahové kabiny; [10]

Rám pro výtahovou kabinu volím taktéž od firmy DELTA CVS. Ten je určen přímo pro kabinu DELTA CVS – Beta 1000. Hmotnost rámu kabiny je 238 kg. Dále volím hmotnost příslušenství výtahové kabiny (kabinové dveře, podlahová krytina, osvětlení, madla, sedačka, zrcadlo, atp.) $m_{DK} = 90 \text{ kg}$.

4.3. Volba protizávaží

Dle normy ČSN EN 81 – 1 se hmotnost protizávaží volí jako součet 40 – 50% nosnosti výtahu a celé hmotností klece s kabinou a příslušenstvím.

Hmotnost nezatížená kabiny

$$P = m_{VK} + m_{RK} + m_{DK} = 472 + 238 + 90 = \underline{800 \text{ kg}} \quad (4.2)$$

Hmotnost protizávaží

$$Z = 0,45 \cdot Q + P = 0,45 \cdot 1000 + 800 = \underline{1250 \text{ kg}} \quad (4.3)$$

- *volím ocelové protizávaží o hmotnosti 1250 kg*

4.4. Návrh nosných lan

Dle ČSN EN 81 – 1 je u elektrických trakčních výtahů nutno, jako nosných prostředků, použít minimálně 2 ocelová lana o minimálním průměru 8 mm s koeficientem bezpečnosti 16. Při použití 3 a více lan, lze jít na koeficient bezpečnosti 12. Z tohoto důvodu volím tři nosná lana, abych se vyhnul přílišnému předimenzování průměru nosných lan. To povede i k ekonomickým úsporám, jelikož lana jsou poměrně drahým konstrukčním prvkem. Tíhu lan lze u malých zdvihů pro zjednodušení zanedbat.



Obr. 4.1 Výtahová lana; zdroj [14]

Skutečná síla v lanech

$$F_{skut} = (Q + P) \cdot g = (1000 + 800) \cdot 9,81 = \underline{17658 \text{ N}} \quad (4.4)$$

Teoretická síla v jednom laně s ohledem na bezpečnost

$$F_{teor} = \frac{k \cdot F_{skut}}{n_L} = \frac{12 \cdot 17658}{3} = \underline{70,632 \text{ kN}} \quad (4.5)$$

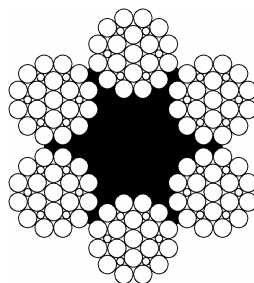
Volím lano se zaručenou nosností $F_{ZL} = 70,7 \text{ kN}$ a metrovou hmotností $q_L = 0,434 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$

V normě ČSN EN 12385 – 5 jsou v tabulkách uvedeny minimální síly při přetržení F_{\min} [kN] pro lana různých konstrukcí a průměrů. Z těchto tabulek lze přímo pomocí známé teoretické síly v jednom laně F_{teor} [kN] určit průměr lana zvoleného typu.

V této normě je také uveden vztah, podle kterého můžeme provést zpětnou kontrolu při zavedení jednoduché podmínky $F_{\min} > F_{\text{teor}}$.

$$F_{\min} = \frac{K_1 \cdot d^2 \cdot R_r}{1000} \quad [\text{kN}] \Rightarrow d > \sqrt{\frac{1000 \cdot F_{\text{teor}}}{K_1 \cdot R_r}} = \sqrt{\frac{1000 \cdot 70,632}{0,33 \cdot 1770}} = \underline{10,997 \text{ mm}} \quad (4.6)$$

- **volím šestipramenné ocelové lano o průměru 11mm s vláknitou duší - 150 drátů**
- **11 6x25 F – FC 1770**



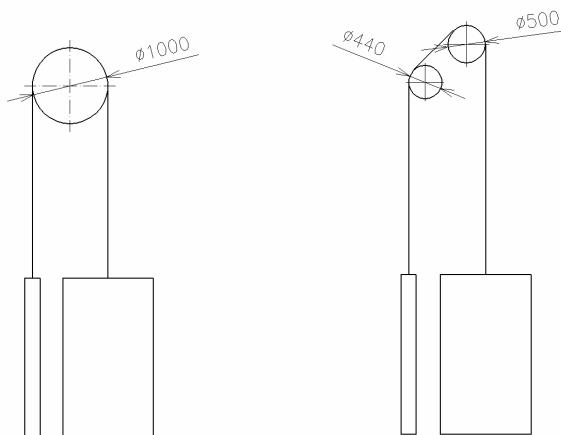
Obr. 4.2 Zvolená konstrukce lana

4.5. Návrh třecího kotouče

Dle normy ČSN 81 – 1 musí mít všechny kladky a třecí kotouče průměr minimálně 40x větší, než je průměr lana, které je přes kladku nebo kotouč vedeno. Z této podmínky určíme průměr kotouče.

Minimální průměr třecího kotouče

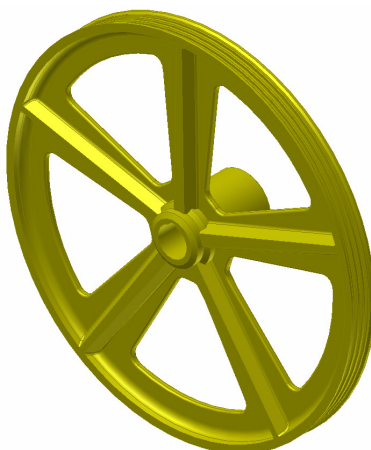
$$D_{\min} = 40 \cdot d = 40 \cdot 11 = \underline{440 \text{ mm}} \quad (4.7)$$



Obr. 4.3 Varianty možných konstrukčních řešení

Je nutno zajistit, aby se kabina bezpečně mohla míjet s protizávažím ve výtahové šachtě. Můžeme volit třecí kotouč s menším průměrem a nutností použití odkláněcí kladky. Tímto řešením snížíme úhel opásání třecího kotouče a razantně tak zhoršíme trakční únosnost. Proto volím variantu pouze s třecím kotoučem většího průměru.

- **volím litinový třecí kotouč s průměrem $D = 1000 \text{ mm}$**



Obr. 4.4 Třecí kotouč

4.6. Návrh drážky třecího kotouče

Součinitel zahrnující zrychlení a speciální podmínky

$$C_1 = \frac{g + a}{g - a} = \frac{9,81 + 0,7}{9,81 - 0,7} = \underline{1,15} \quad (4.8)$$

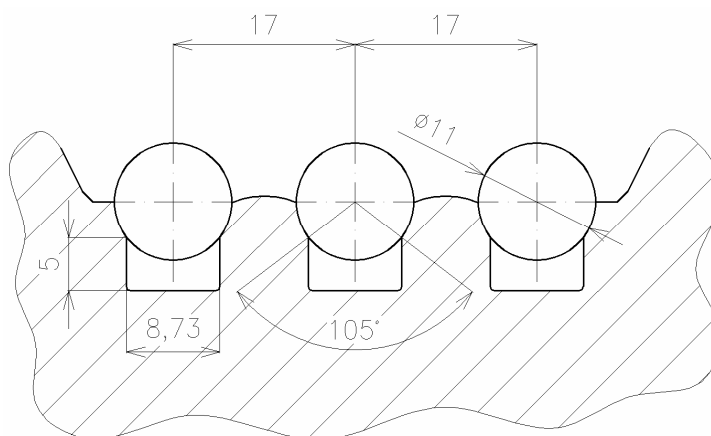
$C_{1\min} = 1,15 \text{ [-]}$ - pro jmenovitou rychlost 1 m/s – dle ČSN EN 81-1.

Ve výpočtu se použije větší z hodnot C_1 a $C_{1\min}$.

Součinitel tvaru drážky

$C_2 = 1 \text{ [-]}$ - dle ČSN EN 81-1 pro polokruhové drážky se zářezem i bez zářezu.

Profil drážky



Obr. 4.5 Návrh drážky třecího kotouče

Úhel podřezání drážky volím $\beta = 105^\circ$ kvůli zvětšení třecí schopnosti drážky.

Součinitel tření mezi ocelovým lanem a litinovým třecím kotoučem volím $\mu = 0,09$ [-]

Součinitel tření

$$f = \frac{4 \cdot \mu \cdot \left(1 - \sin \frac{\beta}{2}\right)}{\pi - \beta - \sin \beta} = \frac{4 \cdot 0,09 \cdot \left(1 - \sin \frac{105}{2}\right)}{3,14 - 1,831 - \sin 105} = \underline{0,217} \quad [-] \quad (4.9)$$

Měrný tlak v drážce

$$p = \frac{T}{n_L \cdot d \cdot D} \cdot \frac{8 \cdot \cos \frac{\beta}{2}}{\pi - \beta - \sin \beta} = \frac{17875}{3 \cdot 11 \cdot 1000} \cdot \frac{8 \cdot \cos \frac{105}{2}}{3,14 - 1,831 - \sin 105} = \underline{7,679 MPa} \quad (4.10)$$

Dovolený měrný tlak v drážce

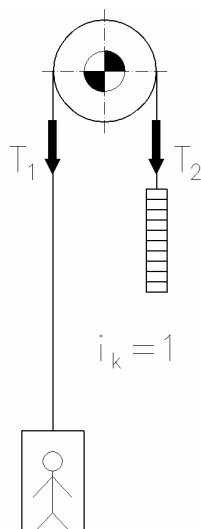
$$p_{DOV} = \frac{12,5 + 4 \cdot v}{1 + v} = \frac{12,5 + 4 \cdot 1}{1 + 1} = \underline{8,25 MPa} \quad \boxed{p < p_{DOV}} \text{ - podmínka je splněna} \quad (4.11)$$

Faktor tření – Eulerův vztah

$$e^{f \cdot \bar{\alpha}} = e^{0,205 \cdot \pi} = \underline{1,975} \quad [-] \quad (4.12)$$

4.7. Kontrola trakce

4.7.1. Nakládání – plná klec dole



Obr. 4.6 Zatěžující síly a lanování

a) Síla na straně klece

$$T_{1Npld} = \frac{(1,25 \cdot Q + P + i_k \cdot n_L \cdot q_L \cdot H) \cdot g}{i_k}$$

$$T_{1Npld} = \frac{(1,25 \cdot 1000 + 800 + 1 \cdot 3 \cdot 0,434 \cdot 17) \cdot 9,81}{1} \quad (4.13)$$

$$T_{1Npld} = \underline{20327,63N}$$

b) Síla na straně protiváhy

$$T_{2Npld} = \frac{Z \cdot g}{i_k}$$

$$T_{2Npld} = \frac{1250 \cdot 9,81}{1} \quad (4.14)$$

$$T_{2Npld} = \underline{12262,5N}$$

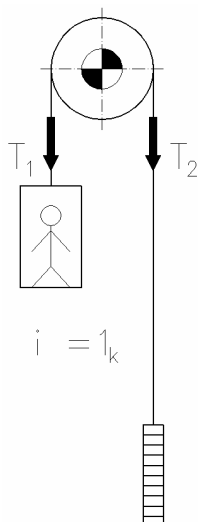
c) Kontrola trakční schopnosti

$$\frac{T_{1Npld}}{T_{2Npld}} \cdot C_1 \cdot C_2 \leq e^{f \cdot \bar{\alpha}}$$

$$\frac{20327,63}{12262,5} \cdot 1,15 \cdot 1 \leq e^{f \cdot \bar{\alpha}} \quad (4.15)$$

$$\underline{1,906 < 1,975}$$

4.7.2. Nakládání – plná klec nahore



Obr. 4.7 Zatěžující síly a lanování

a) Síla na straně klece

$$T_{1Np\ln} = \frac{(1,25 \cdot Q + P) \cdot g}{i_k}$$

$$T_{1Np\ln} = \frac{(1,25 \cdot 1000 + 800) \cdot 9,81}{1}$$

$$T_{1Np\ln} = \underline{20110,5N}$$
(4.16)

b) Síla na straně protiváhy

$$T_{2Np\ln} = \frac{(Z + i_k \cdot n_L \cdot q_L \cdot H) \cdot g}{i_k}$$

$$T_{2Np\ln} = \frac{(1250 + 1 \cdot 3 \cdot 0,434 \cdot 17) \cdot 9,81}{1}$$

$$T_{2Np\ln} = \underline{12479,63N}$$
(4.17)

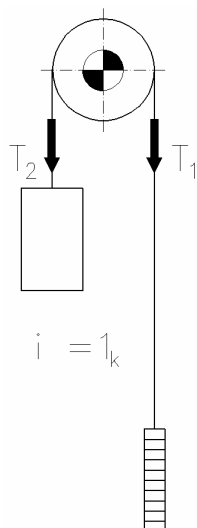
c) Kontrola trakční schopnosti

$$\frac{T_{1Np\ln}}{T_{2Np\ln}} \cdot C_1 \cdot C_2 \leq e^{f \cdot \bar{\alpha}}$$

$$\frac{20110,5}{12479,63} \cdot 1,15 \cdot 1 \leq e^{f \cdot \bar{\alpha}}$$

$$\underline{1,853 < 1,975}$$
(4.18)

4.7.3. Vykládání – prázdná klec nahoře



Obr. 4.8 Zatěžující síly a lanování

a) Síla na straně protiváhy

$$T_{1Vpm} = \frac{(Z + i_k \cdot n_L \cdot q_L \cdot H) \cdot g}{i_k}$$

$$T_{1Vpm} = \frac{(1250 + 1 \cdot 3 \cdot 0,434 \cdot 17) \cdot 9,81}{1}$$

$$T_{1Vpm} = \underline{12479,63N}$$
(4.19)

b) Síla na straně klece

$$T_{2Vpm} = \frac{P \cdot g}{i_k}$$

$$T_{2Vpm} = \frac{800 \cdot 9,81}{1}$$

$$T_{2Vpm} = \underline{7848N}$$
(4.20)

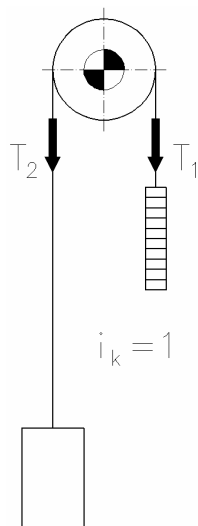
c) Kontrola trakční schopnosti

$$\frac{T_{1Vpm}}{T_{2Vpm}} \cdot C_1 \cdot C_2 \leq e^{f \cdot \bar{\alpha}}$$

$$\frac{12479,63}{7848} \cdot 1,15 \cdot 1 \leq e^{f \cdot \bar{\alpha}}$$

$$\underline{1,829 < 1,975}$$
(4.21)

4.7.4. Vykládání – prázdná klec dole



Obr. 4.9 Zatěžující síly a lanování

a) Síla na straně protiváhy

$$T_{1Vprd} = \frac{Z \cdot g}{i_k}$$

$$T_{1Vprd} = \frac{1250 \cdot 9,81}{1}$$

$$T_{1Vprd} = \underline{12262,5N}$$
(4.22)

b) Síla na straně klece

$$T_{2Vprd} = \frac{(P + i_k \cdot n_L \cdot q_L \cdot H) \cdot g}{i_k}$$

$$T_{2Vprd} = \frac{(800 + 1 \cdot 3 \cdot 0,434 \cdot 17) \cdot 9,81}{1}$$

$$T_{2Vprd} = \underline{8065,13N}$$
(4.23)

c) Kontrola trakční schopnosti

$$\frac{T_{1Vprd}}{T_{2Vprd}} \cdot C_1 \cdot C_2 \leq e^{f \cdot \bar{\alpha}}$$

$$\frac{12262,5}{8065,13} \cdot 1,15 \cdot 1 \leq e^{f \cdot \bar{\alpha}}$$

$$\underline{1,748 < 1,975}$$
(4.24)

4.7.5. Nouzové zastavení – plná klec, směr dolů

a) Síla na straně klece

$$\begin{aligned}T_{1NZplsd} &= \frac{(g+a) \cdot (Q+P+i_k \cdot n_L \cdot q_L \cdot H)}{i_k} \\T_{1NZplsd} &= \frac{(9,81+0,7) \cdot (1000+800+1 \cdot 3 \cdot 0,434 \cdot 17)}{1} \\T_{1NZplsd} &= \underline{19150,63N}\end{aligned}\tag{4.25}$$

b) Síla na straně protiváhy

$$\begin{aligned}T_{2NZplsd} &= \frac{(g-a) \cdot Z}{i_k} \\T_{2NZplsd} &= \frac{(9,81-0,7) \cdot 1250}{1} \\T_{2NZplsd} &= \underline{11387,5N}\end{aligned}\tag{4.26}$$

c) Kontrola trakční schopnosti

$$\begin{aligned}\frac{T_{1NZplsd}}{T_{2NZplsd}} \cdot C_1 \cdot C_2 &\leq e^{f \cdot \bar{\alpha}} \\ \frac{19150,63}{11387,5} \cdot 1,15 \cdot 1 &\leq e^{f \cdot \bar{\alpha}} \\ \underline{1,934} &< 1,975\end{aligned}\tag{4.27}$$

4.7.6. Nouzové zastavení – plná klec, směr nahoru

a) Síla na straně klece

$$\begin{aligned}T_{1NZplsn} &= \frac{(g-a) \cdot (Q+P)}{i_k} \\T_{1NZplsn} &= \frac{(9,81-0,7) \cdot (1000+800)}{1} \\T_{1NZplsn} &= \underline{16398N}\end{aligned}\tag{4.28}$$

b) Síla na straně protiváhy

$$T_{2NZplsn} = \frac{(g+a) \cdot (Z + i_k \cdot n_L \cdot q_L \cdot H)}{i_k}$$

$$T_{2NZplsn} = \frac{(9,81+0,7) \cdot (1250+1 \cdot 3 \cdot 0,434 \cdot 17)}{1}$$

$$T_{2NZplsn} = \underline{13370,13N}$$
(4.29)

c) Kontrola trakční schopnosti

$$\frac{T_{1NZplsn}}{T_{2NZplsn}} \cdot C_1 \cdot C_2 \leq e^{f \cdot \bar{\alpha}}$$

$$\frac{16398}{13370,13} \cdot 1,15 \cdot 1 \leq e^{f \cdot \bar{\alpha}}$$

$$\underline{1,410 < 1,975}$$
(4.30)

4.7.7. Nouzové zastavení – prázdná klec, směr dolů

a) Síla na straně klece

$$T_{2NZprsd} = \frac{(g+a) \cdot (P + i_k \cdot n_L \cdot q_L \cdot H)}{i_k}$$

$$T_{2NZprsd} = \frac{(9,81+0,7) \cdot (800+1 \cdot 3 \cdot 0,434 \cdot 17)}{1}$$

$$T_{2NZprsd} = \underline{8640,63N}$$
(4.31)

b) Síla na straně protiváhy

$$T_{1NZprsd} = \frac{(g-a) \cdot Z}{i_k}$$

$$T_{1NZprsd} = \frac{(9,81-0,7) \cdot 1250}{1}$$

$$T_{1NZprsd} = \underline{11387,5N}$$
(4.32)

c) Kontrola trakční schopnosti

$$\frac{T_{1NZprsd}}{T_{2NZprsd}} \cdot C_1 \cdot C_2 \leq e^{f \cdot \bar{\alpha}}$$

$$\frac{11387,5}{8640,63} \cdot 1,15 \cdot 1 \leq e^{f \cdot \bar{\alpha}}$$

$$\underline{1,516 < 1,975}$$
(4.33)

4.7.8. Nouzové zastavení – prázdná klec, směr nahoru

a) Síla na straně klece

$$T_{2NZprsn} = \frac{(g - a) \cdot P}{i_k}$$

$$T_{2NZprsn} = \frac{(9,81 - 0,7) \cdot 800}{1}$$

$$T_{2NZprsn} = \underline{8408N}$$
(4.34)

b) Síla na straně protiváhy

$$T_{1NZprsn} = \frac{(g + a) \cdot (Z + i_k \cdot n_L \cdot q_L \cdot H)}{i_k}$$

$$T_{1NZprsn} = \frac{(9,81 + 0,7) \cdot (1250 + 1 \cdot 3 \cdot 0,434 \cdot 17)}{1}$$

$$T_{1NZprsn} = \underline{13370,13N}$$
(4.35)

c) Kontrola trakční schopnosti

$$\frac{T_{1NZprsn}}{T_{2NZprsn}} \cdot C_1 \cdot C_2 \leq e^{f \cdot \bar{\alpha}}$$

$$\frac{8408}{13370,13} \cdot 1,15 \cdot 1 \leq e^{f \cdot \bar{\alpha}}$$

$$\underline{1,829 < 1,975}$$
(4.36)

T_{1Npld}	20327,63	$T_{1NZplsd}$	19150,63
T_{2Npld}	12262,50	$T_{2NZplsd}$	11387,50
$T_{1Npld} - T_{2Npld}$	8065,13	$T_{1NZplsd} - T_{2NZplsd}$	7763,13

T_{1Npln}	20110,50	$T_{1NZplsn}$	16398,00
T_{2Npln}	12479,63	$T_{2NZplsn}$	13370,13
$T_{1Npln} - T_{2Npln}$	7630,87	$T_{1NZplsn} - T_{2NZplsn}$	3027,87

T_{1Vprd}	12262,50	$T_{1NZprsd}$	8640,63
T_{2Vprd}	8065,13	$T_{2NZprsd}$	11387,50
$T_{1Vprd} - T_{2Vprd}$	4197,37	$T_{1NZprsd} - T_{2NZprsd}$	-2746,87

T_{1Vprn}	12479,63	$T_{1NZprsn}$	8408,00
T_{2Vprn}	7848,00	$T_{2NZprsn}$	13370,13
$T_{1Vprn} - T_{2Vprn}$	4631,63	$T_{1NZprsn} - T_{2NZprsn}$	-4962,13

Tab. 4.2 Přehled hodnot trakční únosnosti [N]

4.8. Výpočet výkonu

Pro výpočet výkonu elektromotoru se použije maximální obvodová síla F_o . Vychází se z nejnepříznivějšího stavu, tj. rozjezd plné kabiny z dolní krajní stanice.

Obvodová síla

$$F_o = T_{1Npld} - T_{2Npld} = 20327,63 - 12262,5 = \underline{8065,13 \text{ N}} \quad (4.37)$$

Potřebný výkon elektromotoru

$$P_{EM \min} = \frac{F_o \cdot v}{1000 \cdot \eta_c} = \frac{8065,13 \cdot 1}{1000 \cdot 0,735} = \underline{10,973 \text{ kW}} \quad (4.38)$$

$$\eta_c = \eta_{EM} \cdot \eta_P = 0,875 \cdot 0,84 = \underline{0,735} \quad [-] \quad (4.39)$$

$\eta_{EM} = 0,875$ - účinnost elektromotoru

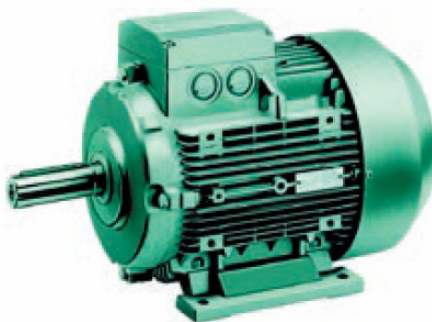
$\eta_P = 0,84$ - účinnost šnekové převodovky

4.9. Volba elektromotoru

Je zvolen trojfázový asynchronní elektromotor s kotvou na krátko od firmy SIEMENS typ 1LA7 166 – 6AA10, patkový o výkonu $P_{EM} = 11 \text{ kW}$.

Parametry elektromotoru

- výkon – $P_{EM} = 11 \text{ kW}$
- jmenovité otáčky – $n_{EM} = 960 \text{ min}^{-1} = 16 \text{ s}^{-1}$
- účinnost – $\eta_{EM} = 0,875$ [–]
- jmenovitý moment – $M_{N-EM} = 109 \text{ N} \cdot \text{m}$
- poměrný záběrový moment – $M_{Z-EM} / M_{N-EM} = 2,3$ [–]
- moment setrvačnosti – $J_{EM} = 0,049 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$



Obr. 4.10 Zvolený elektromotor SIEMENS 1LA7; zdroj [18]

4.10. Výpočet převodového poměru

Otáčky třecího kotouče

$$n_{TK} = \frac{v}{\frac{D}{2} \cdot 2 \cdot \pi}$$

$$n_{TK} = \frac{1}{\frac{1}{2} \cdot 2 \cdot \pi}$$

$$n_{TK} = 0,318 \text{ s}^{-1} = \underline{19,1 \text{ min}^{-1}}$$

(4.40)

Potřebný převodový poměr

$$i_{př} = \frac{n_{EM}}{n_{TK}} = \frac{960}{19,1} = \underline{50,26} \quad [-] \quad (4.41)$$

4.11. Volba převodové skříně

U výtahových strojů je nutno použít samosvornou převodovku. Ta musí být schopna přenášet kroutící moment pouze v jednom směru, a to z motoru na třecí kotouč. V žádném případě ne obráceně. To vše z důvodu, aby při případné havárii některého z výtahových komponentů výtahového stroje nedošlo k samovolnému pádu klece ve výtahové šachtě.

Z těchto důvodů je zvolena šneková převodovka. Ta je u výtahových strojů s výhodou používána pro svou samosvornost a vysoké převodové poměry. Konkrétně se jedná o šnekovou převodovku firmy TEXTRON typ CNU 10" 50.

Parametry převodovky

- převodový poměr - $i_p = 50 \quad [-]$
- účinnost - $\eta_p = 0,84 \quad [-]$
- max. přenášený výkon - $P_p = 23,7 \text{ kW}$
- max. výstupní moment - $M_{p_{\max}} = 9910 \text{ Nm}$
- moment setrvačnosti - $J_p = 0,014 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$



Obr. 4.11 Zvolená převodová skříň TEXTRON; zdroj [17]

Skutečná rychlost zdvihu:

$$v_{sk} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{EM}}{i_p} = \frac{\pi \cdot 1 \cdot 16}{50} = \underline{1,005 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} \quad (4.42)$$

Rozdíl oproti požadované rychlosti je naprosto zanedbatelný.

4.12. *Kontrola doby rozběhu*

Vycházíme ze základní momentové rovnice: $M_Z = M_{st} + M_i$

Statický moment břemene redukováný na hřídel motoru

$$M_{st} = \frac{F_o \cdot D}{2 \cdot i_p \cdot \eta_c} = \frac{8065,13 \cdot 1}{2 \cdot 50 \cdot 0,735} = \underline{109,73 \text{ Nm}} \quad (4.43)$$

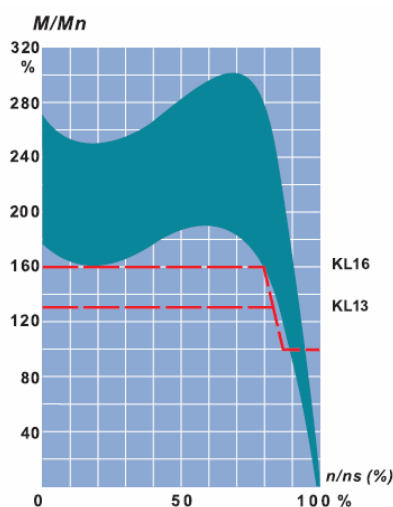
Setrvačný (inerční) moment pohyblivých hmot redukováný na hřídel motoru

$$\begin{aligned} M_i &= (J_1 + J_2) \cdot \varepsilon \\ M_i &= (J_1 + J_2) \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{EM}}{t_r} \\ M_i &= (1,36 + 0,415) \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 16}{t_r} \\ M_i &= \frac{178,44}{t_r} \end{aligned} \quad (4.44)$$

$$\begin{aligned} J_1 &= J_{EM} + J_{BK} + J_P + J_{TK} \cdot \frac{1}{i_p \cdot \eta_c} \\ J_1 &= 0,049 + 0,84 + 0,014 + 16,95 \cdot \frac{1}{50 \cdot 0,735} \\ J_1 &= \underline{1,36 \text{ kg} \cdot \text{m}^2} \end{aligned} \quad (4.45)$$

$$\begin{aligned} J_2 &= \frac{m_{PH} \cdot v_{sk}^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot n_{EM}^2 \cdot \eta_c} \\ J_2 &= \frac{3050 \cdot 1,005^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot 16^2 \cdot 0,735} \\ J_2 &= \underline{0,415 \text{ kg} \cdot \text{m}^2} \end{aligned} \quad (4.46)$$

Motory s kotvou nakrátko jsou přednostně spouštěny přímým zapnutím. Klasifikace momentu KL16 ukazuje, že při přímém zapnutí i při úbytku napětí -5% je možný rozběh proti zátěžnému momentu až do 160% jmenovitého kroutícího momentu.



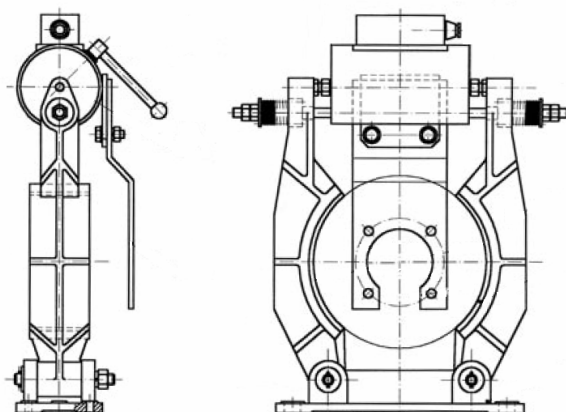
Obr. 4.12 Momentová charakteristika elektromotoru; zdroj [18]

$$M_{Z-EM} = M_{st} + M_i \Rightarrow t_r = \frac{178,44}{174,4 - 109,73} = 2,76 \text{ s} \quad (4.47)$$

$$174,4 = 109,73 + \frac{178,44}{t_r}$$

4.13. Volba brzdy

Je zvolena dvojčinná čelist'ová brzda WYKOV B300 s brzdným kotoučem o průměru 300 mm a elektromagnetickým odbrzd'ovačem.



Obr. 4.13 Náčrt zvolené brzdy WYKOV B300; zdroj [19]

4.14. Výpočet přitlačné síly čelistí brzdy

Volím čas brzdění $t_b = 1,5s$

$$\begin{aligned}
 M_{U \min} &= M_{st} + M_i \\
 M_{U \min} &= 109,73 + \frac{178,44}{t_b} \\
 M_{U \min} &= 109,73 + \frac{178,44}{1,5} \\
 M_{U \min} &= \underline{228,69 \text{ Nm}}
 \end{aligned}
 \Rightarrow \text{Volím } \underline{M_U = 230 \text{ Nm}} \quad (4.48)$$

Rozměry brzdy

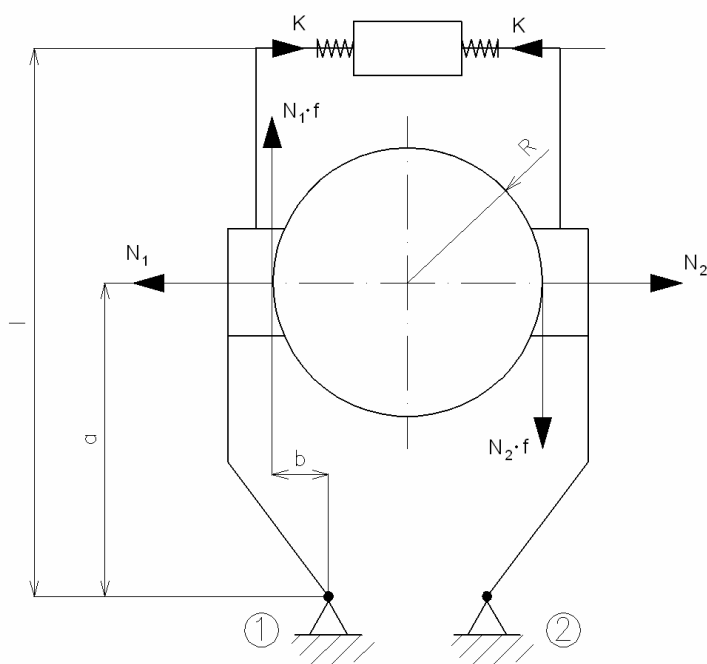
$$R = 150 \text{ mm} = 0,15 \text{ m}$$

$$a = 190 \text{ mm} = 0,19 \text{ m}$$

$$b = 100 \text{ mm} = 0,1 \text{ m}$$

$$l = 420 \text{ mm} = 0,42 \text{ m}$$

$$\underline{f_B = 0,35 \quad [-]}$$



Obr. 4.14 Schéma brzdy se zavedením působících sil

Momentová podmínka k bodu (1)

$$\sum M_1 = 0: \quad \begin{array}{l} N_1 \cdot a - N_1 \cdot f_B \cdot b = K \cdot l \\ N_1 \cdot (a - f_B \cdot b) = K \cdot l \end{array} \Rightarrow \quad \underline{N_1 = \frac{K \cdot l}{a - f_B \cdot b}} \quad (4.49)$$

Momentová podmínka k bodu (2)

$$\sum M_2 = 0: \quad \begin{array}{l} N_2 \cdot a + N_2 \cdot f_B \cdot b = K \cdot l \\ N_2 \cdot (a + f_B \cdot b) = K \cdot l \end{array} \Rightarrow \quad \underline{N_2 = \frac{K \cdot l}{a + f_B \cdot b}} \quad (4.50)$$

$$M_U = F_U \cdot R \Rightarrow \quad F_U = \frac{M_U}{R} = \frac{230}{0,15} = \underline{1533,33 \text{ N}} \quad (4.51)$$

$$F_U = (N_1 + N_2) \cdot f_B = \left(\frac{K \cdot l}{a - f_B \cdot b} + \frac{K \cdot l}{a + f_B \cdot b} \right) \cdot f_B \quad (4.52)$$

⇓

$$K = \frac{(a - f_B \cdot b) \cdot (a + f_B \cdot b) \cdot F_U}{2 \cdot f_B \cdot a \cdot l} = \frac{(0,19 - 0,35 \cdot 0,1) \cdot (0,19 + 0,35 \cdot 0,1) \cdot 1533,33}{2 \cdot 0,35 \cdot 0,19 \cdot 0,42} = \underline{957,3 \text{ N}}$$

Aby byla brzda schopna vyvodit potřebný brzdňý moment, je potřeba šrouby a pružiny elektromagnetického odbrzdovače nastavit tak, aby byly schopny vyvodit přítláčnou sílu zhruba 960 N.

4.15. Volba spojky

Je volena pružná spojka, u které se kroutící moment přenáší přes 8 pryžových válečků, vložených mezi hnací a hnanou část spojky. Spojka zároveň slouží jako brzdňý kotouč.



Obr. 4.15 Fotografie pružné spojky

5. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navržení pohonu a nosných ocelových lan pro osobní elektrický trakční výtah se strojovnou nad hlavou výtahové šachty.

V úvodní textové části byl vysvětlen pojem výtah a bylo zde popsáno, jak lze podle příslušných norem tyto výtahy dělit. Další část této práce byla zaměřena na konkrétní typ výtahu, a tím byl elektrický trakční výtah se strojovnou nahoře. Byly zde popsány a vysvětleny základní pojmy týkající se výtahů, a to například výtahový stroj, trakční pohon, atp. Byl zde rovněž uveden přehled komponentů používaných při konstrukci výtahů.

Dále byla zpracována řada technologických výpočtů dle norem ČSN EN 81-1 a ČSN EN 12385-5, zahrnujících návrhy klece výtahu, vyvažovacího závaží, třecího kotouče, nosných lan, kontrolu trakční únosnosti a volbu všech komponentů výtahového stroje.

Ve výkresové dokumentaci je znázorněno celkové dispoziční řešení výtahu se strojovnou nahoře. Dále je ve výkresové dokumentaci také sestavný výkres výtahového stroje, sestavný výkres rámu výtahové kabiny a výrobní výkres pomaluběžné hřídele výtahového stroje.

6. Seznam použité literatury

Knižní publikace

- [1] DOLEŽAL, J., JANOVSKEÝ, L. *Výtahy a eskalátory (Technický průvodce 55)*. 1.vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980. 695s.
- [2] JANOVSKEÝ, L. *Výtahy a eskalátory I*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1971. 210s.
- [3] JANOVSKEÝ, L. *Výtahy a eskalátory II*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1974. 170s.
- [4] POLÁK, J., SLÍVA, A. *Dopravní a manipulační zařízení III*. Ostrava: Ediční středisko VŠB – TU Ostrava, 2005. 137 s.
- [5] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. 1. vyd. Úvaly: ALBRA, 2003. 865 s.

Legislativa

- [6] Vyhláška č. 19/1979 Sb., o vyhrazených zdvihacích zařízeních

Normy

- [7] *Norma ČSN EN 81-1 Bezpečnostní předpisy pro konstrukci a montáž výtahů (Část 1: Elektrické výtahy)*. Praha: ČNI, 1999
- [8] *Norma ČSN ISO 4190-1 Zřizování elektrických výtahů (Část 1: Výtahy třídy I, II, III a VI)*. Praha: ČNI, 2005
- [9] *Norma ČSN EN 12385-5 Ocelová drátěná lana – Bezpečnost (Část 5: Pramenná lana pro výtahy)*. Praha: ČNI, 2004

Internetové zdroje

- [10] <http://www.deltacvs.cz/>
- [11] <http://www.sassi.it/>
- [12] <http://www.comming.cz/>
- [13] <http://www.vytahy-muhlbacher.cz/>
- [14] <http://ramanengg.tradeindia.com/>

- [15] <http://www.alpind.com/>
- [16] <http://www.globalelevators.cz/>
- [17] <http://www.textron.com/>
- [18] <http://www.motorgear.cz/>
- [19] <http://www.wykov.cz/>
- [20] <http://www.strojon-vytahy.cz/>
- [21] <http://www.otisworldwide.com/>
- [22] <http://www.liftcomp.cz/>
- [23] <http://ceu.construction.com/>

7. Přílohy

Výkresová dokumentace

Příloha A	<i>Výtahový stroj.</i> Sestavný výkres výtahového stroje
Příloha B	<i>Výtahová šachta.</i> Řez výtahovou šachtou
Příloha C	<i>Rám TL1000.</i> Sestavný výkres rámu kabiny
Příloha D	<i>Hřídel.</i> Výrobní výkres pomaloběžné hřídele